

## **“TRANSIENT KNICKPOINTS” NO LEITO DOS RIOS, SIGNIFICADO NA EVOLUÇÃO DA PAISAGEM**

ANTÓNIO MARTINS

*Departamento de Geociências, Centro de Geofísica, Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7000-671, Évora, Portugal. aam@uevora.pt*

BENTO CALDEIRA  
JOSÉ BORGES

*Gr Departamento de Física, Centro de Geofísica, Universidade de Évora, Rua Romão Ramalho, 59, 7002-554 Évora, Portugal*

Neste trabalho apresenta-se uma síntese sobre a relevância dos knickpoints na estruturação do perfil longitudinal dos rios e indirectamente, na evolução da paisagem. Aborda-se o significado dos knickpoints relativamente aos conceitos de equilíbrio e desequilíbrio do perfil longitudinal, difundidos na literatura. Leis que regem a incisão fluvial, testadas em modelos físico-matemáticos, estabelecidos nas duas últimas décadas, são também referidas. Salientam-se as potencialidades que decorrem deste tipo de análise quantitativa dos perfis longitudinais dos rios, nomeadamente: a identificação de troços relíquia e troços ajustados a novas condições de equilíbrio; a reconstituição de antigos leitos (erodidos) a jusante de knickpoints transitórios e a correlação com outras unidades geomorfológicas, como sejam os terraços fluviais. A relação entre o comportamento das vagas de erosão com a morfologia dos knickpoints e com certos modelos de evolução da paisagem é salientada neste trabalho.

### **1 Introdução**

Na geomorfologia fluvial, termo “knickpoint” (kp) aplica-se a mudanças abruptas no declive dos rios, geralmente manifesto através de rápidos e quedas de água no perfil longitudinal. Além da espectacular atracção turística, de constituírem obstáculos à navegação, ou de potenciarem o aproveitamento hidroeléctrico, estes detalhes geomorfológicos, representam igualmente um importante significado na evolução da paisagem e, desde cedo, suscitaram a curiosidade dos geomorfólogos [1], [2][6], [18].

Nas últimas duas décadas o termo knickpoint tem merecido várias definições, sendo importante distingui-lo do termo “knickzone” (kz), muitas vezes confundidos. A kz aplica-se a um troço do perfil longitudinal do rio mais inclinado do que os troços adjacentes, a montante e a jusante [9]. A rotura do declive situada na extremidade superior da knickzone constitui um kp [4]. Deste modo, um kp corresponde ao ponto de inflexão, entre um troço com forte declive (kz) e um troço com menor declive, situado a montante [8]. À escala local, a morfologia do kp divide-se no lábio superior, “knickpoint lip”, na face do knickpoint, “knickpoint face” e na rotura de declive basal, “basal knick” [5].

No que respeita aos processos operantes, os kp e as kz são locais de acentuada incisão do rio [19], e por isso, têm um significado especial na geomorfologia fluvial e na evolução da paisagem. Deste ponto de vista, um kp corresponde à expressão geomorfológica de um desequilíbrio no perfil longitudinal do rio, provocado por factores externos ao sistema fluvial (variações do nível de base, tectónica local ou regional etc).

Por este motivo, muitos kp situam-se no limite de dois troços do rio com características geomorfológicas completamente distintas: um troço a montante do kp, ainda não afectado pelas condições de desequilíbrio (troço relíquia) e outro troço, a jusante do kp, ajustado a novas condições de equilíbrio, impostas por variações dos factores externos ao sistema fluvial (Fig. 1). O exemplo mais paradigmático desta situação é a sucessão de rápidos e quedas de água do rio Guadiana no local conhecido por “Pulo do Lobo”. É este tipo de kp que mais interessa na evolução da paisagem, precisamente por serem móveis no perfil longitudinal do rio. São por isso designados kp transitórios “transient knickpoints” na literatura anglo-saxónica. Estes kp migram no sentido da desembocadura para as cabeceiras da bacia hidrográfica, transmitindo a toda a bacia as novas condições de equilíbrio do sistema fluvial, impostas pelas variações dos mecanismos exteriores que controlam o sistema fluvial.

Outros kp, estão relacionados com as diferenças litológicas. Estes encontram-se em troços de rios, na transposição rochas de elevada resistência para litologias mais brandas. Este tipo de kp permanece estacionário no leito dos rio, são designados “permanent knickpoints”. Um exemplo deste tipo de kp é o Cachão da Valeira no rio Douro, situado na bordadura de uma maciço granítico e que ficou célebre pelos trágicos naufrágios ocorridos naquele local.

A formação dos knickpoints deve-se a vários mecanismos, tais como, variações do nível de base, variações de caudal relacionadas com processos de captura fluvial, variação no fluxo de sedimento, deformações tectónicas e, como foi referido, à resistência do bedrock.

Neste trabalho aborda-se, muito sucintamente, algumas leis que regem a migração dos knickpoints transitórios e suas implicações na evolução do relevo.

## **2 Importância dos knickpoints na evolução da paisagem**

Os canais de fluviais correndo em litologia uniforme tendem a desenvolver, no longo prazo, um perfil longitudinal com um declive delicadamente ajustado para fornecer, com o caudal disponível e as características prevaletentes do canal, a velocidade de fluxo necessária para o transporte da carga vinda de montante.

Este conceito de perfil equilíbrio [13] tem associado, em muitos casos, o desenvolvimento de um perfil longitudinal, onde o gradiente do rio diminui gradualmente para jusante. Além disso, o conceito de equilíbrio nos sistemas fluviais significa que outros parâmetros como clima, fornecimento de sedimento, caudal e levantamento tectónico têm de estar ajustados para alcançar tal condição de equilíbrio dinâmico [13], [21], [22]. As condições de desequilíbrio manifestam-se nos sistemas fluviais através de processos de agração, ou de incisão como acontece nos locais dos knickpoints, que são sítios de acelerada erosão.

A forma côncava (“concave up”) do perfil de equilíbrio pode ser definida por equações matemáticas que relacionam a variação do declive com a distância, ou variação do declive com a área da bacia. Nas duas últimas décadas, tem sido largamente difundido na literatura que o gradiente do rio, na situação de equilíbrio, diminui segundo uma função potencial da área de drenagem [3], [16], [21], [22]. Uma nova formulação do perfil de equilíbrio, baseada na diminuição potencial do gradiente do rio com o aumento da distância para jusante, foi também estabelecida durante a última década [7]. Mais concretamente, é condição do perfil de equilíbrio, ajustar a uma relação bi-logritmica

linear entre o declive do perfil e a distância. Os troços em desequilíbrio, como os knickpoints, ou os que não atingiram ainda a situação de equilíbrio aparecem representados com pontos distribuídos de forma aleatória nas representações gráficas da distância versus declive [7]. A formulação de um modelo matemático do perfil idealizado permite identificar facilmente os troços que atingiram a situação de equilíbrio dinâmico e reconstituir o perfil de equilíbrio para os troços a jusante, onde a passagem prévia do knickpoint já destruiu esse perfil de equilíbrio (Fig. 1).

Lembramos que os “transient kp” se comportam como vagas de erosão que viajam ao longo do perfil longitudinal, no sentido oposto ao da corrente. A reconstituição do perfil de equilíbrio permite calcular o valor incisão em cada ponto a jusante do kp, e estimar a quantidade de material erodido em termos de área (2D) e volume (3D). Existe hoje à disposição dos investigadores, fontes de dados topográficos digitais, software específico e equipamento informático com uma capacidade de tratamento de dados muito superior ao que existia há duas décadas[8].

Em termos de evolução da paisagem, à escala de milhares a centenas de milhares de anos, é interessante verificar a relação dos kp com os terraços fluviais [15]. Nos leitos rochosos, os terraços de rocha, “strath terrace”, correspondem a situações de equilíbrio dinâmico. Considerando este facto, faz todo o sentido correlacionar o perfil relíquia a montante de um kp com terraços de rocha suspenso sobre o leito actual, a jusante do kp. Numa eventual correlação destes elementos geomorfológicos, é crucial a determinação da idade do terraço no cálculo da velocidade média de propagação do kp.

A vaga de erosão e velocidade de propagação são analisadas em vários trabalhos [10], [11], [20], [26], [27] podendo ser escritas segundo as equações 1 e 2

$$\frac{\partial h}{\partial t} = KA^m S^{n-1} \left| \frac{\partial h}{\partial x} \right|, \quad \frac{\partial h}{\partial x} < 0, \quad (1)$$

onde  $h$  é a elevação do leito do rio relativa à coluna rochosa subjacente,  $t$  é o tempo,  $S$  é o gradiente do canal,  $A$  é a área de drenagem e  $K$  representa o factor de eficiência erosiva relacionado com a litologia, clima e geometria do canal, os expoentes  $m$  e  $n$  são dois parâmetros cujos valores se relacionam com propriedades físicas e morfológicas do meio (rigidez dos materiais, agentes de erosão, morfologia)

$$C \simeq KA^m S^{n-1} \quad (2)$$

onde  $C$  é a velocidade da vaga de erosão.

Em leitos rochosos, a vaga de erosão assume um comportamento cinemático não linear. Por exemplo, a distância percorrida a partir da desembocadura é maior nos cursos de água com maior bacia de drenagem, mas a velocidade de propagação vai diminuindo com a distância percorrida, à medida que a área de bacia, a montante do kp, vai sendo cada vez mais reduzida. A partir de uma determinada área mínima (área crítica) o kp não progride mais.

Os valores assumidos pelo expoente  $n$  (equação 1) são determinantes na morfologia do kp [23], [25]. Aquele expoente pode assumir valores de  $n = 1$ ,  $n < 1$  e  $n > 1$ . Com valores de  $n = 1$  a equação (1) reduz-se a uma função linear, constante. Em termos morfológicos, traduz-se no retrocesso paralelo do kp. Com valores de  $n < 1$  a velocidade

de propagação da vaga de erosão é maior nos troços de menor declive, traduzindo-se em kp com fortes abruptos na base “abrupt basal knick” e declive mais suave no topo. Com valores de  $n > 1$  a vaga de erosão progride mais rapidamente nos troços com maior declive, neste caso, o segmento com maior declive situa-se no topo do kp (knickpoint lip), adquirindo o segmento abaixo uma forma mais suave com a concavidade voltada para cima “smooth graded-like morphology” [24].

Estas formas de comportamento da vaga de erosão podem ter implicações na evolução tridimensional do relevo a escalas mais alargadas, podendo constituir os fundamentos da evolução de paisagens, com morfologias mais próximas do modelo de retrocesso paralelo das vertentes “back wearing model” [12, 17], ou das que seguem o modelo mais próximo do rebaixamento das vertentes “down wearing model” [2].

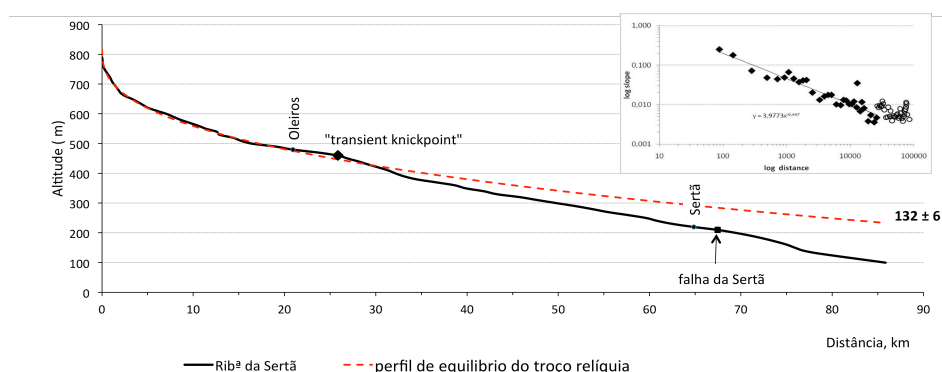


Fig. 1 Perfil longitudinal da Ribª da Sertã. O perfil relíquia situa-se a montante do knickpoint transitório “transient knickpoint”. A jusante do knickpoint, encontra-se o perfil ajustado a novas condições de equilíbrio, impostas pela variação do nível de base. O gráfico inserido mostra que o perfil relíquia (losangos pretos) se encontra próximo da situação de equilíbrio, enquanto o troço a jusante do knickpoint (círculos brancos) se encontra ainda numa situação de desequilíbrio. A projecção para jusante do perfil relíquia permite estimar o valor da incisão na desembocadura do rio Zêzere ( $132 \pm 6$  m).

### 3 Conclusões

Nas últimas duas décadas, a investigação sobre roturas de declive no perfil longitudinal dos rios, designados na literatura geomorfológica por knickpoints, progrediu de forma assinalável. Este facto deve-se, em grande medida, à enorme capacidade de extracção e tratamento de dados topográficos digitais a partir de várias fontes, situação que não existia nas décadas anteriores. A colaboração entre investigadores com diferente formação permitiu uma abordagem quantitativa a partir da observação/medição geomorfológica. Assim, foram deduzidas leis que regem a incisão fluvial, quantificadas pelos modelos físico-matemáticos difundidas na literatura especializada. Uma das mais

interessantes equações é a que define o perfil de equilíbrio dinâmico, cuja projecção para jusante permite reconstituir o antigo leito do rio nos troços ajustados ou em vias de ajustamento a novas condições de equilíbrio.

A escala de análise feita aos perfis longitudinais dos rios e a regularização dos mesmos, a um nível muito próximo do perfil de equilíbrio, pressupõe escalas temporais de milhares a centenas de milhares de anos. A esta escala temporal, a correlação de troços relíquia, separados por knickpoints transitórios, com sequências de terraços fluviais, situados a jusante, afigura-se coerente. Taxas de incisão fluvial e de migração média dos knickpoints poderão ser estimadas, desde que se conheça a idade de terraços fluviais correlativos de troços relíquia, ou o momento da partida do knickpoint na desembocadura. No mesmo curso de água, a identificação de troços relíquia e de troços ajustados às condições actuais revela-se fundamental no reconhecimento de paisagens cuja morfologia reflecte sobretudo condições herdadas e paisagens que reflectem o ajustamento às condições prevaletentes nas últimas dezenas de milhar de anos [14].

A natureza das vagas de erosão, nomeadamente, o carácter não linear da sua propagação, parecem ter forte implicação na morfologia dos knickpoints, mas também nos modelos de evolução de paisagem (“back wearing” versus “down wearing models”), os quais motivaram aceso debate entre geomorfólogos na primeira década do século passado.

## References

1. W. Davis, *Geogr. J.*, **14**, 481–504 (1899).
2. W. Davis, *Geological Society of America Bulletin*, **43** (2), 399–440. (1932).
3. J. Flint, *Water Resources Research* **10**, 969–973 (1974)
4. M. Foster, Unpublished MSc Thesis, *Humbolt State University*, USA. (2010)
5. W. Gardner, *Geological Society of America Bulletin* **94**, 664–672 (1983).
6. G. Gilbert, *The American Book Co.*, New York, pp. 203–236. (1896)
7. G. Goldrick, and P. Bishop, *Earth Surface Processes and Landforms*, **32**, 649–671 (2007).
8. N. Gonga-Saholiariliva, Y. Gunnell, C. Mering, *Geomorphology* **134**, 394–407 (2011).
9. Y. Hayakawa, T. Oguchi, *Geomorphology*, **28**, 90–106 (2006).
10. Howard, A. D., in *Thresholds in Geomorphology*, edited by D. R. Coates and J. D. Vitek, pp. 227–258, Allen and Unwin, Concord, Mass. (1980).
11. D. Howard, *A Water Resour. Res.*, **30**, 2261–2285 (1994).
12. L. King, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **64**, 721–752 (1953).
13. H. Mackin, *Geological Society of America Bulletin* **101**, 1373–1388 (1948).
14. A. Martins, J. Borges, C. Bento, M. Stokes, P. Cunha, C. Martins, Fluvial Archives Group (FLAG) Meeting, Luxembourg 2nd-7th September (2012)
15. A. Martins, P. Cunha, S. Huot, A. Murray, J. Buylaert, *Quaternary International* **199** 75–91 (2009).
16. E. Moglen, and R. Bras, *Water Resour. Res.*, **31**, 2613–2623 (1995).

17. W. Penck, *Morphological Analysis of Land Forms: A Contribution to Physical Geography*, translated by H. Czech and K. C. Boswell, 429 pp., Macmillan, Old Tappan, N. J., (1921).
18. W. Penck, *J. Engelhorn's nachf.*, Stuttgart. (1924).
19. D. Phillips, D. Lutz, *Geomorphology* **102**, 554–556 (2008).
20. A. Rosenbloom, and R. Anderson, *J. Geophys. Res.*, **99**, 14,013–14,030 (1994).
21. S. Sklar, E. Dietrich, In: Tinkler, K.J., Wohl, E.E. (Eds.), *Rivers Over Rock: Fluvial Processes in Bedrock Channels*. American Geophysical Union, Washington, D.C, pp. 237–260 (1998).
22. P. Snyder, X. Whipple, E. Tucker, J. Merritts, *Geological Society of America Bulletin* **112** (8), 1250–1263 (2000).
23. E. Tucker, *Tech. Rep. 96-003, Earth Syst. Sci. Cent.*, Pa. State Univ., University Park (1996).
24. E. Tucker, and X. Whipple, *Journal of Geophysical Research*, **107**, NO. B9, 2179, doi:10.1029/2001JB000162. (2002).
25. K. Weissel, and M. Seidl, *Fluvial Processes in Bedrock Channels*, *Geophys. Monogr. Ser.*, vol. 107, edited by E. Wohl and K. Tinkler, pp. 189–206, AGU, Washington, D. C., (1998).
26. X. Whipple, *Am. J. Sci.*, **301**, 313–325 (2001).
27. X. Whipple, and G. Tucker, *J. Geophys. Res.*, **104**, 17,661–17,674 (1999).